

2021年度 若手・女性研究者奨励金 レポート

研究課題	手指の触覚と脊髄神経機能の興奮性の関係性 —F波の波形からわかること—
キーワード	①手指の触覚、②誘発筋電図 F 波、③脊髄

研究者の所属・氏名等

フリガナ 氏名	トウドウ マリナ 東藤 真理奈
配付時の所属先・職位等 (令和3年4月1日現在)	関西医療大学 保健医療学部 理学療法学科 助教
現在の所属先・職位等 (令和4年7月1日現在)	同上
プロフィール	<p>2016年4月より関西医療大学保健医療学部理学療法学科の助教として勤めています。また、2021年3月に金沢大学医薬保健学総合研究科にて博士課程を修了しました。</p> <p>幼い頃、父が不慮の事故によって頸髄損傷となったことをきっかけに理学療法士の道を歩み、さらには父の疾患である脊髄に関する研究を学部生のときから10年近く続けています。</p> <p>再生医療が進む現在、脊髄損傷者にも適応するケースが増えてきました。今後は脊髄疾患において様々な機能と脊髄との関係性を追求し、より効率の良い、適した治療を提供できるよう、現在も脊髄神経機能の指標となるF波を用いて研究しています。</p>

1. 研究の概要

我々が生活する上で、手指機能は不可欠である。さらに日本人は食事において箸文化であり、手は複雑かつ微細な力のコントロールが必要となる。また、手は多くの場合、物に対して握ったり、触ったり、摘まむなどを通して動作を遂行する。そのため、動作だけではなく、知覚を用いて物の形状を把握し力をコントロールする必要がある。しかし、脊髄損傷などにより感覚低下が生じた場合には日常生活に大きな影響を与える。

そこで今回、健常者を対象に母指と示指によるつまみ動作を動作課題と設定し、手指を冷却させ一時的に触覚を低下させた中でつまみ動作をした場合の脊髄運動神経機能の興奮性変化とパフォーマンスの関係性を検討した。脊髄運動神経機能の評価には誘発筋電図のF波という指標を用いる。F波とは、末梢神経に一定の電気刺激を与えた際に、逆行性に伝導し脊髄前角細胞で再発火をおこし、順行性に伝導した末に、末梢の筋で記録される複合筋活動電位のことである。F波は、再発火する運動ニューロンの数やタイミングが異なることが正常であり、健常者の場合には多様性の波形が認められる。しかし、脊髄損傷による運動ニューロン障害などにより手指の随意性や巧緻性が低下すると Repeater F という同一のF波が認められることがあり、波形に着目する意義を述べる研究者は多い。しかし、波形が多様性を示す故に妥当性のある波形分析方法は未だ確立されていない。そこで我々は、F波の新たな波形分析方法を試みることでこれまで検討されてこなかった手指の触覚が与える脊髄神経機能への影響を新たな視点から検討した。

2. 研究の動機、目的

例えば、お箸を操作するとき我々は視覚的情報や感覚情報を使いながら運動を学習していく。眼を閉じていてもお箸の操作が可能なレベルまで上達すると、これらの情報を必要とせずに動作が可能となる。つまり、上肢の感覚が喪失した者でも複雑な手指の運動が可能であるということになる。しかし、今までに経験のない新たな運動を習得しようとした場合には感覚情報の欠如は致命的となる。運動学習は、感覚受容器から得られる情報によって運動軌道を修正したり力量を調整したりするための自己調整系が重要である。この自己調整系を通して、中枢神経系からの出力は常に感覚受容器からのフィードバックによって、目標値や実行値との誤差をなくすよう調整されている。



感覚にも様々な種類が存在しているが、本研究では特に巧緻性の高い動作に影響を与える体性感覚に着目する。体性感覚は、大きく皮膚感覚と深部感覚に分かれており、簡単にいうと皮膚感覚とは肌で感じる触圧覚や温痛覚のこと、深部感覚は、身体の位置や動きを感知する位置覚や運動覚のことである。今回、健常者を対象に感覚のなかでも表皮に近く比較的容易に触覚機能を低下することができる感覚受容器を冷却し、一時的に触覚低下を生じさせた際の母指と示指のつまみ動作時の脊髄神経機能の興奮性についてF波を用いて新たな解析方法から検討することを目的とする。

2-1. 対象者

対象者は、健常者 10 名（男性 4 名、女性 6 名）平均年齢 27.5 ± 8.5 歳とした。運動実施および F 波計測は非利き手側にておこなった。対象者にはヘルシンキ宣言に基づき、本研究の意義、目的を十分に説明し、同意を得た上で実施した。本研究は、関西医療大学研究倫理審査委員会の承認を得て実施した（承認番号：21-26）。

2-2. 方法

まず、座位にて非利き手側より F 波を計測する。その後、非利き手側の母指と示指の最大のつまむ力（以後：ピンチ力）の 10% の値（以後：10%MVC）を算出する（例：最大ピンチ力 1.0 の場合、10%MVC は 0.1）。対象者には、ピンチ力を計測するセンサーを把持してもらいピンチ力の値が表示されるモニターを見ながら 10%MVC の値を維持し続けてもらう。このとき、パフォーマンス評価として Vital Recorder (KISSEICOMTEC Inc.) にてピンチ力値の軌道を記録しつつ、F 波を平行して計測した。次に、母指と示指を冷却し続け触覚検査器具である Semmes-Weinstein Monofilament を用いて触覚低下を確認した。そして、最後に触覚低下した状態で保冷剤を介してピンチセンサーを把持し、再度 10%MVC の値を維持し続けてもらったときのピンチ力の軌道と F 波を記録した（図 1）。

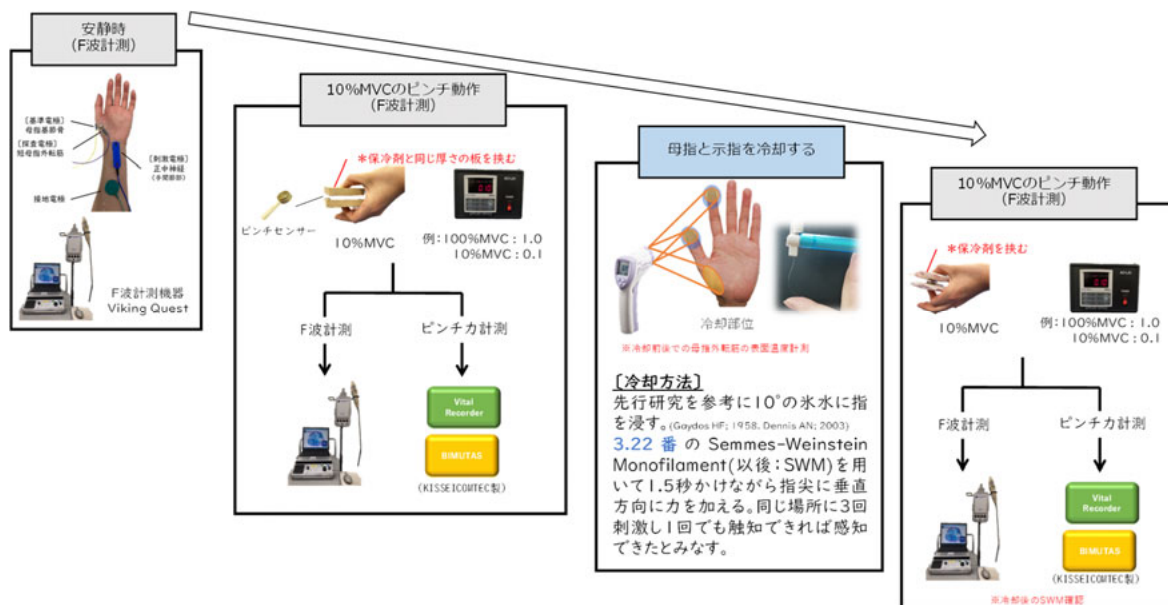


図 1. 研究プロトコル

2-3. 分析項目

パフォーマンス評価では、各個人における 10%MVC の値の上下誤差 5% 範囲を許容範囲とし、維持率を BIMUTAS (KISSEICOMTEC Inc.) にて解析し算出した (図 2)。つまり、ここで算出する値が高いほどパフォーマンスレベルは高いことを意味する。

脊髄運動神経機能の興奮性の指標として用いる F 波の分析項目は、F 波の振幅値を最大 M 波で正規化した“振幅 F/M 比”、刺激回数に対して出現した F 波を割合で算出した“出現頻度”、電気刺激を与えてから F 波が出現するまでの時間を表す“立ち上がり潜時”、最も早く出現した F 波と最も遅く出現した F 波の潜時の差を表す“Chronodispersion”をまず挙げる。振幅 F/M 比と出現頻度は、脊髄神経機能の興奮性増大を意味しており、立ち上がり潜時や Chronodispersion は伝導速度の速さやばらつきを意味する。

そして最後に、波形解析として既存の指標である ORF (occupancy rate of repeater F-waves) を算出する。ORF とは、出現した F 波の総数に対する Repeater F の割合である。Repeater F の判断は、これまで視覚での判断のみであった。そこでより客観的な解析方法として今回新たに用いる Cluster 分析にて解析を行う。Cluster 分析は我々独自の解析ソフトを用いて相関係数と振幅値の 2 つの条件から Repeater F を抽出するものである。ORF の値が高ければ、Repeater F の出現率が高いことを意味する。

2-4. 統計学的検討方法

脊髄神経機能の興奮性変化は、冷却前後の 10%MVC 運動課題時の F 波を安静時を 1 とした時の相対値にて 2 群間で比較する。振幅 F/M 比・出現頻度・立ち上がり潜時・Chronodispersion は、Shapiro-Wilk 検定にて正規性が棄却されたため Wilcoxon 符号順位検定を用いた。ORF は正規性を認めたため t 検定にて比較した。

パフォーマンス評価では、冷却前後の 10%MVC の維持率を比較する。Shapiro-Wilk 検定にて正規性が棄却されたため Wilcoxon 符号順位検定を用いた。

3. 研究の結果

3-1. 脊髄神経機能の興奮性

振幅 F/M 比・出現頻度・立ち上がり潜時において冷却前後の 10%MVC に統計学的な差は認められなかった。しかし、Chronodispersion では冷却前に比べて冷却後で増大を示した。また、ORF においても統計学的な差は認められなかった (図 2)。

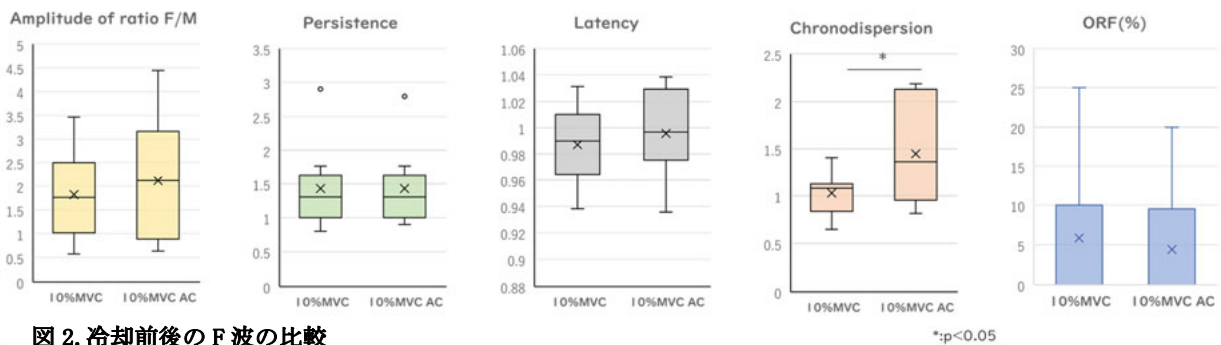


図 2. 冷却前後の F 波の比較

3-2. パフォーマンス評価

10%MVC の維持率を冷却前後で比較すると統計学的な差は認められなかったものの、冷却後に維持率は低下する傾向が確認できた (図 3)。

ORF と 10%MVC の維持率の結果を個別に確認すると、冷却後パフォーマンスが向上したものは 3 名であり、内 2 名は ORF が増大、1 名は冷却前後で 0% であり不変であった。一方冷却後パフォーマンスが低下したものは 6 名であり、内 1 名は ORF 増大、2 名は ORF 低下、3 名が 0% で不変であった。

以上の結果から、運動に関与する手指の感覚が低下した場合、潜時はばらつくが、反復 F 波の割合が増加するケースでは

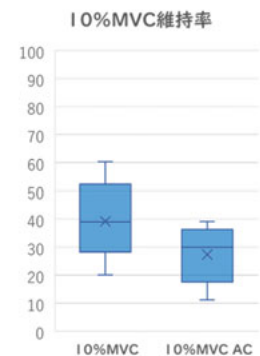


図 3. パフォーマンス評価の結果

パフォーマンス能力は向上する可能性が考えられた。代表例を図4に示す。

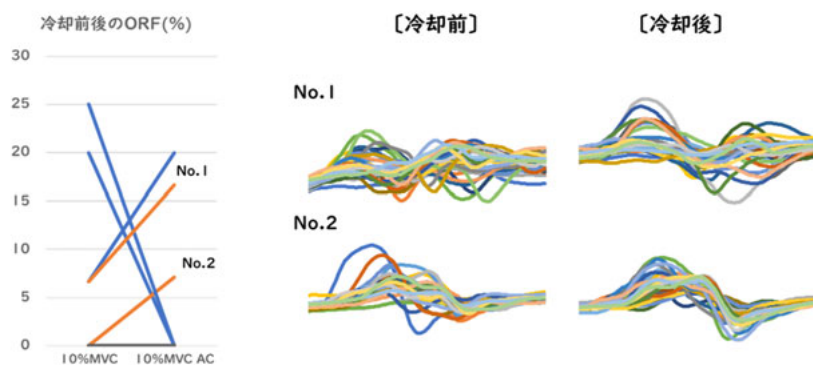


図4. ORFが増大し、パフォーマンスレベルが向上した代表例

4. 研究者としてのこれからの展望

我々が動作をする際には、中枢からの指令が効果器に伝達されて関節が動き動作が可能となる。脊髄はその経路において運動を司る神経である α 運動ニューロンの起始部となる大変重要なシナプスである。この α 運動ニューロンへの入力系に異常が生じると随意性や巧緻性が低下し日常生活に支障をきたす。F波の振幅値や出現頻度、立ち上がり潜時への影響については多くの報告がある中、波形の変化については多様性故、解析は難しく研究が進んでいない。

再生医療が注目を浴びる現在、神経や筋骨格筋が再生されていく中で、随意性や巧緻性をより客観的に評価する一つのツールとしてF波の波形解析を活用したいと考えている。

5. 支援者（寄付企業等や社会一般）等へのメッセージ

多くの支援者様よりご寄付頂き、本研究を実現することができましたことを心より感謝申し上げます。今回、感覚と運動との関係性について検討させていただく機会を頂き、難易度の低い運動課題であっても個人差があり、その個人差にはこれまでの経験や、筋骨格系の状態、さらには運動課題時のフィードバックの種類によるものなど、様々なバイアスが影響していることに気づくことができました。今回の研究をきっかけに、手指の巧緻性や随意性がどのようなメカニズムで獲得していき、どのようなフィードバック機構に頼っているのかについてさらに追求していきたいと思っております。

今回の研究期間では、新型コロナウイルスの影響もあり実験の継続が難しくなる時期もあったことから被検者が少ない状態で終了時期を迎えてしまいました。結果としてもまだ不十分な状態です。今後はさらに健常者の被検者を増やすと共に、高齢者や脊髄疾患を有した方においても検討実施を予定しております。

このような基礎研究の積み重ねが最終的には身体に不自由な方に対する評価・治療の一助になれるように今後も研究を継続していきます。